

45490



PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: :
: :
Nam-Yul Yu et al. : Group Art Unit:
: :
Serial No.: 10/622,508 : Examiner:
: :
Filed: July 21, 2003 : :
: :
For: APPARATUS AND METHOD FOR : :
TURBO DECODING :

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In order to perfect the claim for priority under 35 U.S.C. §119(a), the Applicants herewith submit a certified copy of Korean Patent Application No. 2002-42686, as filed on July 19, 2002. Should anything further be required, the Office is asked to contact the undersigned attorney at the local telephone number listed below.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Peter L. Kendall".

Peter L. Kendall
Attorney of Record
Reg. No.: 46,246

Roylance, Abrams, Berdo & Goodman, L.L.P.
1300 19th Street, N.W., Suite 600
Washington, D.C. 20036-2680
(202) 659-9076

Dated: March 30, 2004



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 10-2002-0042686
Application Number

출원년월일 : 2002년 07월 19일
Date of Application JUL 19, 2002

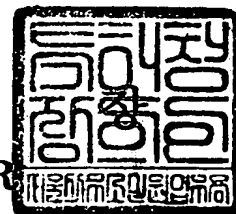
출원인 : 삼성전자주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.



2003 07 19
년 월 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0005
【제출일자】	2002.07.19
【국제특허분류】	H04L
【발명의 명칭】	터보 부호의 복호 장치 및 방법
【발명의 영문명칭】	DECODING APPARATUS AND METHOD OF TURBO CODE
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이건주
【대리인코드】	9-1998-000339-8
【포괄위임등록번호】	1999-006038-0
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김민구
【성명의 영문표기】	KIM,Min Goo
【주민등록번호】	640820-1067025
【우편번호】	442-470
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 968 신나무실 신명아파트 633-1502
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	하상혁
【성명의 영문표기】	HA,Sang Hyuck
【주민등록번호】	730219-1167429
【우편번호】	441-390
【주소】	경기도 수원시 권선구 권선동 1314번지 주공1단지아파트 121동 1003 호
【국적】	KR



1020020042686

출력 일자: 2003/7/21

【발명자】

【성명의 국문표기】 유남열

【성명의 영문표기】 YU,Nam Yul

【주민등록번호】 711207-1024118

【우편번호】 442-470

【주소】 경기도 수원시 팔달구 영통동 벽적골 8단지 아파트
812-804

【국적】 KR

【심사청구】 청구

【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인
이건주 (인)

【수수료】

【기본출원료】 20 면 29,000 원

【가산출원료】 33 면 33,000 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 7 항 333,000 원

【합계】 395,000 원

【요약서】**【요약】**

가. 청구범위에 기재된 발명이 속한 기술분야

디지털 통신 시스템에서 순방향 오류를 정정(Forward Error Correction : FEC)하는 장치 및 방법에 관한 기술이다.

나. 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제

Log-Map 알고리즘보다 회로가 복잡하지 않으며, Max-Log-Map 알고리즘보다 성능의 열화가 적은 복호 장치 및 방법을 제공한다.

다. 발명의 해결방법의 요지

본 발명에 따른 장치는 터보 부호의 복호를 위한 구성 복호기 장치로, 입력 정보 심볼들로부터 구한 최대 메트릭 값들의 차이로부터 로그 우도비 정보를 계산하는 제1덧셈기와, 입력 수신 심볼로부터 얻은 전송로 정보와 사전 정보를 더하여 출력하는 제2덧셈기와, 상기 제1덧셈기 및 제2덧셈기의 출력을 이용하여 전송로 정보와 사전 정보를 제외한 부가 정보를 계산하여 출력하는 제3덧셈기와, 상기 제3덧셈기의 출력에 소정의 가중치를 곱하여 출력하는 제1곱셈기와, 상기 입력 정보 심볼들로부터 교정 값을 계산하여 출력하는 교정 값 계산부와, 상기 교정 값 계산부로부터 출력되는 교정 값과 상기 제1곱셈기의 출력을 가산하는 제4덧셈기를 포함하여 구성된다.

라. 발명의 중요한 용도

터보 부호를 사용하는 장치에서 수신된 심볼의 복호 시에 사용한다.



1020020042686

출력 일자: 2003/7/21

【대표도】

도 6

【색인어】

순방향 오류 정정, Log-Map 알고리즘, Max-Log-Map 알고리즘, 터보 부호의 복호

【명세서】

【발명의 명칭】

터보 부호의 복호 장치 및 방법{DECODING APPARATUS AND METHOD OF TURBO CODE}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명에 따른 2차 max-Log-MAP algorithm을 적용한 turbo decoder의 전체 구조를 도시한 도면,

도 2는 본 발명에 따라 임의의 복호 시점 k 에서 최대 metric $M_n(0)$ 와 두 번째로 큰 metric $M_n(1)$ 의 값을 구하기 위한 흐름도,

도 3은 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의한 임의의 심볼에 대한 로그우도비 정보 및 반복 복호를 위한 부가 정보를 정의하기 위한 흐름도,

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따라 임의의 복호 시점에서 로그우도비 정보에 관한 최대 metric 값과, 두 번째 metric 값을 동시에 찾기 위한 구성도,

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따라 임의의 복호 시점에서 해당 정보 심볼에 대한 부가 정보를 생성하기 위한 블록 구성도,

도 6은 본 발명에 따라 부가 정보를 구하는데 필요한 교정 값을 계산하기 위한 블록 구성도,

도 7 및 도 8은 EP size가 3864이고, overall code rate이 1/2인 경우에 대한 turbo decoder 복호 성능을 나타내는 BER 및 FER 결과를 도시한 도면,

도 9 및 도 10은 $E_b/N_0=1.3$ dB에서 반복 복호에 따라 'log2 MaxLogMAP'의 성능과 'mod MaxLogMAP'의 성능, 'MaxLogMAP with FG'의 성능, 그리고 'MaxLogMAP'의 성능을 비교한 도면,

도 11 및 도 12는 EP size가 792이고, effective code rate이 1/5인 경우에 대한 BER & FER 성능 실험 결과를 도시한 도면,

도 13 및 도 14는 $E_b/N_0=0.7$ dB에서 EP size=792인 경우에 대해 반복 복호에 따른 성능을 비교한 도면,

도 15 및 도 16은 EP size가 3864이고, effective code rate이 1/2인 경우, $E_b/N_0=1.2$ dB에서 SNR mismatch에 따른 각 복호 알고리즘들에 의한 복호 성능을 비교한 도면.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<12> 본 발명은 디지털 통신 시스템에서 순방향 오류를 정정(Forward Error Correction : FEC)하는 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 터보 부호(Turbo Code)의 복호를 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

<13> 통상적으로 터보 부호는 고속 데이터 통신을 위해 사용되고 있으며, 대표적으로 이동통신 시스템에서 1xEV-DO 시스템 또는 1xEV-DV 시스템에서 사용되고 있

다. 이러한 터보 부호는 1993년 Berrou등에 의해 처음 제안되었다. 상기 터보 부호를 생성하는 방법은, 두 개의 재귀 조직 길쌈 부호기(Recursive Systematic Convolutional encoder : RSC encoder)를 병렬로 연결하고, 그 사이에 random interleaver를 두어 두 구성 부호기로 입력되는 정보어가 서로 interleaved된 상태로 각각 부호화되어 부호어를 생성한다. 이러한 터보 부호를 복호하기 위한 터보 복호기는 두 개의 구성 복호기를 직렬로 연결하고, 각각의 구성 복호기에서 생성된 부가 정보(extrinsic information)를 서로 교환하면서 반복 복호(iterative decoding)를 수행한다. 이때, 하나의 구성 복호기에서 사용하는 복호 알고리즘으로는 로그-맵 알고리즘(Log-MAP algorithm)과 최대-로그-맵 알고리즘(Max-Log-MAP algorithm) 및 SOVA 알고리즘 등이 있다.

<14> 상기한 알고리즘들 중에서 로그-맵 알고리즘은 trellis 상의 정보어를 복호하는데 있어 최적의 알고리즘인 MAP 알고리즘을 로그 영역(log domain) 상에서 구현한 것이며, 최대-로그-맵 알고리즘은 로그-맵 알고리즘을 metric 연산 과정의 근사화를 통해 보다 간단하게 구현한 것이다. 상기 최대-로그-맵 알고리즘은 로그-맵 알고리즘의 근사화된 형태의 알고리즘이므로, 로그-맵 알고리즘에 비해 구현이 용이하다. 그러나, 수신기에서 정확한 신호 대 잡음비를 알 수 있는 경우에는 로그-맵 알고리즘에 의한 복호에 비해 성능 열화가 있는 단점이 있다.

<15> 상기한 최대-로그-맵 알고리즘은 state metric과 LLR(log likelihood ratio, 이하 "로그 우도비") 정보를 정의하는 식이 필요하게 된다. 이러한 state metric 및 로그 우도비 정보를 정의하는 식은 임의의 시점 k 에서 trellis상의 state s , s' 에 대한 state metric α , β 는 하기 <수학식 1>같은 재귀 관계(recursive relation)로 정의될 수 있다.

<16> **【수학식 1】** $\log(\alpha_k(s)) = \log\left(\sum_s \alpha_{k-1}(s') \gamma_k(s', s)\right), \log(\beta_{k-1}(s')) = \log\left(\sum_s \beta_k(s) \gamma_k(s', s)\right)$

<17> 여기서, γ 는 채널로부터 수신된 심볼에 의해 정의되는 branch metric이다. 또한 임의의 k번째 심볼에 대한 로그우도비는 이들 state metric과 branch metric에 의해 하기 <수학식 2>와 같이 정의될 수 있다.

<18>

$$L(\hat{u}_k) = \log \left(\frac{\sum_{(s', s), u_k=0} \alpha_{k-1}(s') \gamma_k(s', s) \beta_k(s)}{\sum_{(s', s), u_k=1} \alpha_{k-1}(s') \gamma_k(s', s) \beta_k(s)} \right) = \log \left(\frac{\sum_i e^{M_0(i)}}{\sum_i e^{M_1(i)}} \right)$$

$$= M_0(0) - M_1(0) + f_c$$

【수학식 2】 *where* , $f_c = \log(1 + \sum_{i \neq 0} e^{-(M_0(0) - M_0(i))}) - \log(1 + \sum_{i \neq 0} e^{-(M_1(0) - M_1(i))})$

<19> 상기 <수학식 2>에서 $M_n(i)$ 는 임의의 복호 시점 k에서 정보 심볼 n(0 or 1)에 대해 임의의 state set(s', s)에서 정의되는 metric 값($\log(\alpha_{k-1}(s') \gamma_k(s', s) \beta_k(s))$)을 그 크기에 따라 내림차순으로 정리한 값들 가운데 I 번째에 해당하는 metric 값이다. 따라서 $M_0(0)$ 와 $M_1(0)$ 는 복호 시점 k에서 정보 심볼 0과 1에 대해 갖는 최대 metric 값이며, f_c 는 각 정보 심볼에 대한 최대 metric 값과, 나머지 metric 값의 차이에 의해 정의되는 값이다. 따라서 로그-맵 알고리즘에서 로그 우도비 갱신 과정은 임의의 복호 시점 k에서의 정보 심볼간의 최대 metric 값의 차이와, 이에 대한 교정 값 f_c 에 의해 정의된다.

<20> 이를 정리하면, 로그-맵 알고리즘에서 상기 <수학식 1>에 의해 하나의 구성 복호기의 trellis 상의 모든 state metric을 정의 및 생성하고, 상기 state metric에 따라 trellis 상의 임의의 심볼에 대한 로그 우도비 정보를 상기 <수학식 2>에 의해 정의 및 생성한다. 그리고 상기 로그 우도비 정보로부터 도출된 부가 정보를 다른 구성 복호기의



입력으로 전달함으로써 반복 복호를 수행하여 터보 코드에 대한 전체적인 복호를 수행한다.

<21> 상기 로그-맵 알고리즘을 단순화한 최대-로그-맵 알고리즘은 상기 <수학식 1>의 state metric 갱신 과정을 max operation으로 단순화하며, 이를 수학식으로 도시하면 하기 <수학식 3>과 같이 도시할 수 있다.

$$\log \alpha_k(s) \approx \max_{s'} (\log(\alpha_{k-1}(s') \gamma_k(s', s)))$$

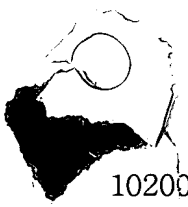
【수학식 3】 $\log \beta_{k-1}(s') \approx \max_s (\log(\beta_k(s) \gamma_k(s', s)))$

<23> 상기 <수학식 3>의 단순화와 동일하게 임의의 복호 심볼 k에 대한 로그 우도비 값을 max operation에 의해 단순화할 수 있으며, 상기 <수학식 2>의 함수 f_c 를 0으로 간주하고, 하기 <수학식 4>와 같이 최대 metric의 차이에 의해서만 로그 우도비 갱신을 수행할 수 있다.

$$L(\hat{u}_k) = M_0(0) - M_1(0)$$

【수학식 4】

<25> 이를 정리하면 최대-로그-맵 알고리즘에서는 상기 <수학식 3>에 의해 하나의 구성 복호기의 trellis 상의 모든 state metric을 max operation을 통해 정의 및 생성하고, 상기 정의된 state metric에 따라 trellis 상의 임의의 심볼에 대한 로그 우도비 정보를 상기 <수학식 4>에 의해 정보 심볼 0과 1에 대한 최대 metric의 차이에 의해 정의 및 생성한다. 그리고, 로그-맵 알고리즘에서와 같이 로그 우도비 정보로부터 도출된 부가 정보를 다른 구성 복호기의 입력으로 전달함으로써 반복 복호를 수행하여 터보 코드에 대한 전체적인 복호를 수행한다.



<26> 이외에도 최대-로그-맵 알고리즘에 의한 터보 디코더의 복호 성능을 개선시키기 위해 상기 <수학식 4>에 의해 생성된 로그 우도비 정보를 통하여 도출된 부가 정보에 일정한 가중치를 곱하여 반복 복호를 수행하기도 하는데, 이를 궤환 이득을 고려한 최대-로그-맵 알고리즘(Max-Log-MAP algorithm with FG(feedback gain))이라 부른다. 이때, 궤환 이득으로 곱하는 가중치는 대략 0.588235이며, 두 번째 구성 복호기에서 생성된 부가 정보에만 이러한 가중치를 곱한다.

<27> 상기 로그-맵 알고리즘은 최적의 symbol by symbol MAP decoding algorithm을 log domain에서 구현한 것이므로, 이에 의한 터보 복호는 MAP 알고리즘에 의한 터보 복호의 성능과 동일한, 가장 우수한 성능을 나타낸다. 그러나, 로그-맵 알고리즘을 하드웨어 상에서 구현할 경우에는 각 metric을 정의하는 $\log(1+e^{-\Delta})$ 형태의 함수를 실제 구현하거나, look-up table 형태로 구현해야 하는 문제점이 생겨 하드웨어의 복잡도가 증가하게 된다. 또한, 로그-맵 알고리즘을 max operation을 통해 근사화한 최대-로그-맵 알고리즘은 로그-맵 알고리즘에 비해 look-up table을 필요로 하지 않는 구현상의 장점은 있으나, 이에 의한 터보 복호(turbo decoding) 시 로그-맵 알고리즘에 의한 터보 복호에 비해 성능 열화가 존재하는 단점이 있다. 그러면 상기 로그-맵 알고리즘과, 최대-로그-맵 알고리즘의 장단점을 살펴본다.

<28> 먼저 로그-맵 알고리즘의 장점 및 단점에 대하여 살펴본다.

<29> 상기 로그-맵 알고리즘은 Optimum symbol by symbol decision algorithm이므로, 현재까지 알려진 최적의 turbo decoding algorithm이다. 그런데 상술한 바와 같이 State metric α , β 와 로그 우도비 정보를 위한 metric을 정의하는데 있어 $\log(1+e^{-\Delta})$ 형태의 함수가 존재하여 이를 구현하는데 하드웨어의 복잡도가 증가한다. 또한 상기 metric을

정의하는데 필요한 $\log(1+e^{-\Delta})$ 의 형태의 함수는 비선형 함수(nonlinear function)이므로, 궁극적으로 Δ 를 정의하는데 필요한 branch metric을 계산하는데 있어 수신 심볼에 대해 정확히 estimation된 SNR이 반드시 필요하다. 만일, 수신 심볼에 대한 SNR estimation에 오류가 발생하면 - SNR mismatch - 그에 따라 turbo decoding의 성능은 크게 열화될 수 있다.

<30> 다음으로 최대-로그-맵 알고리즘의 장점 및 문제점에 대하여 살펴본다.

<31> 모든 metric 계산이 max operation에 의해 이루어지므로, metric 계산을 위해 $\log()$ 연산이 필요 없다. 따라서 상기 로그-맵 알고리즘과 같은 하드웨어의 복잡도가 증가하는 문제가 없다. 또한 모든 metric의 계산이 max operation에 의해 이루어지므로, metric 계산에 비선형 함수인 $\log(1+e^{-\Delta})$ 의 형태의 연산이 존재하지 않으므로, 상기 기술한 SNR mismatch와 관련된 문제가 존재하지 않는다. 그러나, 로그-맵 알고리즘의 근사화된 형태의 알고리즘이므로, 로그-맵 알고리즘에 의한 터보 복호 성능에 비해 약 0.3 ~ 0.4dB의 성능 열화가 항상 발생하는 문제가 발생한다.

<32> 즉, 상술한 바와 같이 로그-맵 알고리즘과, 최대-로그-맵 알고리즘은 상호간 하드웨어의 복잡도 및 성능의 저하를 초래하는 상관관계를 가지게 문제가 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<33> 따라서 본 발명의 목적은 터보 부호의 복호 시 최대-로그-맵 알고리즘보다 성능의 열화가 적은 터보 부호의 복호 장치 및 방법을 제공함에 있다.

<34> 본 발명의 다른 목적은 로그-맵 알고리즘보다 하드웨어의 구성이 복잡하지 않은 터보 부호의 복호 장치 및 방법을 제공함에 있다.

<35> 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 장치는 터보 부호의 복호를 위한 구성 복호기 장치로서, 입력 정보 심볼들로부터 구한 최대 메트릭 값들의 차이로부터 로그 우도비 정보를 계산하는 제1덧셈기와, 입력 수신 심볼로부터 얻은 전송로 정보와 사전 정보를 더하여 출력하는 제2덧셈기와, 상기 제1덧셈기 및 제2덧셈기의 출력을 이용하여 전송로 정보와 사전 정보를 제외한 부가 정보를 계산하여 출력하는 제3덧셈기와, 상기 제3덧셈기의 출력에 소정의 가중치를 곱하여 출력하는 제1곱셈기와, 상기 입력 정보 심볼들로부터 교정 값을 계산하여 출력하는 교정 값 계산부와, 상기 교정 값 계산부로부터 출력되는 교정 값과 상기 제1곱셈기의 출력을 가산하는 제4덧셈기를 포함한다.

<36> 또한 상기 교정 값 계산부는,

<37> 상기 입력되는 정보 심볼 중 0의 값에 대하여 최대 및 두 번째 큰 메트릭의 차이를 계산하는 제5덧셈기와, 상기 입력되는 정보 심볼 중 1의 값에 대하여 최대 및 두 번째 큰 메트릭의 차이를 계산하는 제6덧셈기와, 상기 정보 심볼들인 0과 1의 최대 및 두 번째 큰 메트릭 차이에 대한 로그 함수의 교정 값을 저장하며, 상기 제5 및 제6덧셈기의 출력에 대응하여 상기 저장된 각 교정 값을 출력하는 룩-업 테이블과, 상기 룩-업 테이블로부터 출력된 상기 각 교정 값들의 차를 계산하는 제7덧셈기와, 상기 제7덧셈기의 출력에 소정의 가중치를 곱하는 제2곱셈기와, 상기 제5 및 제6덧셈기의 출력 값의 차를 계산하여 출력하는 제8덧셈기와, 상기 제8덧셈기의 출력에 선형 함수의 근사화 기울기 값을 곱하여 출력하는 제3곱셈기와, 상기 제2곱셈기 및 제3곱셈기의 출력을 선택하여 출력하는 선택기를 포함한다.

<38> 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 방법은 터보 부호의 복호를 위한 구성 복호 방법으로서, 트래리시스 상의 임의의 시점에서 상태 메트릭을 계산하는 제1과정과, 상기 상태 메트릭 값 중에서 정보 심볼에 대한 최대 메트릭 값을 선택하고, 상기 정보 심볼에 대한 상기 최대 메트릭 값과 두 번째로 큰 메트릭 값의 차이에 의해 정의되는 선형 함수인 교정값을 계산하는 제2과정과, 상기 최대 메트릭 값과 상기 교정값에 의해 로그 우도비(Log Likelihood Ratio)를 갱신하는 제3과정으로 이루어짐을 특징으로 한다.

<39> 또한, 상기 교정 값은,

<40> 상기 트래리시스 상에서 로그 함수로 표현되는 두 번째로 큰 메트릭 값을 상기 로그 함수의 접선의 기울기들의 평균 값에 의해 선형화된 함수부터 나온 값이며,

<41> 상기 로그 함수의 접선의 기울기들의 평균값은,

<42> 상기 로그 함수의 접선의 기울기의 평균값을 계산함에 있어서 범위를 정수 0 내지 9보다 이하의 값을 가진다.

<43> 그리고, 상기 갱신된 로그 우도비에 의해 상기 각 정보 심볼에 대해 부가정보를 반복하여 갱신하는 과정에 있어서, 상기 부가 정보에 1에 가까운 가중치를 곱하는 과정을 더 포함할 수 있으며, 상기 가중치 값은 " $1/2 + 1/4 + 1/16$ "에 의해 계산된 값을 이용할 수 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<44> 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 우선 각 도면의 구성 요소들에 참조 부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해

서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다.

<45> 또한 하기 설명에서는 구체적인 메시지 등과 같은 많은 특정(特定) 사항들이 나타나고 있는데, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐 이러한 특정 사항들 없이도 본 발명이 실시될 수 있음은 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하다 할 것이다. 그리고 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

<46> 이하에서 설명되는 본 발명에서는 turbo decoding 과정에서 Max-Log-MAP algorithm의 로그 우도비 정보 업데이트 과정을 수정하여 Log-MAP algorithm에 의한 turbo decoding 성능보다 약 0.1 dB만의 성능 열화를 보장하고, Max-Log-MAP algorithm 및 Max-Log-MAP algorithm with FG에 의한 turbo code의 복호 성능보다 우수한, 개선된 Max-Log-MAP algorithm을 제안한다. 또, 본 발명에서 제안하는 개선된 Max-Log-MAP algorithm은 기본적으로 Max-Log-MAP algorithm에 기반한 turbo decoding algorithm이므로, Max-Log-MAP algorithm에 비해 H/W 복잡도의 증가가 그리 크지 않고, SNR mismatch의 문제도 발생하지 않는 장점이 있다.

<47> 그러면 본 발명에 대하여 간략히 살펴보면 하기와 같다.

<48> 첫째로, 임의의 복호 시점의 로그 우도비 정보를 구하는 과정에서, 정보 심볼 '0'과 '1'에 대한 최대 metric 이외에, 기존의 Max-Log-MAP algorithm에서는 사용하지 않았던 '0'과 '1'에 대한 두 번째로 큰 metric 값들까지 고려하여 로그 우도비 정보를 업데이트 한다. 이와 같이 구성하면 turbo decoding 성능이 Log-MAP algorithm에 의해 얻을

수 있는 turbo decoder의 성능에 근접하는 성능을 얻을 수 있음을 추후 설명될 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있다.

<49> 둘째로, 임의의 복호 시점에서 정보 심볼 '0'과 '1'에 대한 두 번째로 큰 metric을 이용하여 구한 교정 값 f_c 를 비선형 함수로 정의할 경우, SNR mismatch에 따라 성능이 달라지는 문제가 발생하므로 이를 선형 함수로 근사화 하여 정의한다. 이를 통해 turbo decoder의 성능이 SNR mismatch에 관계없이 우수한 성능을 나타냄을 또한 추후 설명될 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있다.

<50> 따라서 본 발명에서는 상기 정의한 f_c 에 대한 선형 근사화를 위한 구체적인 방식을 제시한다. 이와 더불어 f_c 를 원래의 log함수로 그대로 정의한 경우에 대한 성능을 제시하고, 이러한 방식의 구현 시 적용 가능성을 제시한다.

<51> 도 1은 본 발명에 따른 2차 max-Log-MAP algorithm을 적용한 turbo decoder의 전체 구조를 도시한 도면이다. 여기서 2차 max-Log-MAP algorithm이란, 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 알고리즘으로 복호 시점에서 정보 심볼에 대하여 최대 값 및 두 번째로 큰 값의 metric 값을 고려하여 로그 우도비 값을 갱신하기 위한 알고리즘을 말한다.

<52> 본 발명에 따른 2차 max-Log-MAP algorithm은 각각 DEC1과 DEC2에 적용되며, 개선된 알고리즘에 의해 얻는 extrinsic information에 대한 weighting을 위한 FGC(feedback gain controller)가 DEC1, DEC2 모두에 적용된다.

<53> 도 1에서 복호기들(101, 104)은 전술한 2차 Max-Log-MAP algorithm을 이용하여 실제 복호 동작을 수행하여 각 정보 심볼에 대한 부가 정보 및 로그 우도비 정보를 도출하는 구성 복호기 장치이다. 즉, 상기 복호기들(101, 104)은 터보 부호를

구성하는 구성 부호기에 대응하여 이를 복호하는 장치가 된다. 인터리버(102)는 상기 복호기(101)로부터 출력되는 신호를 인터리빙 하여 출력한다. 상기 인터리버(102)는 터보 부호를 이루는 각 구성 부호기간의 데이터 순서가 서로 인터리빙되어 있음을 고려하여 상기 첫 번째 구성 복호기(101)의 출력이 상기 두 번째 구성 복호기(104)의 입력에 맞도록 데이터의 순서를 뒤섞는 동작을 수행한다. 이와 같이 인터리빙 되어 출력된 신호는 제1피드백 이득 제어기(103)로 입력된다. 상기 제1피드백 이득 제어기(103)는 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의해 얻는 부가 정보에 따라 결정된 가중치(weighting)를 곱하여 출력한다. 이와 같이 인터리빙 되어 가중치가 곱해진 값은 상기 두 번째 구성 복호기(104)에 의해 복호 되어 디인터리버(105)로 입력된다. 상기 디인터리버(105)는 상기 인터리버(102)에서 수행된 과정의 역과정을 수행하여 두 번째 구성 복호기(104)의 출력이 첫 번째 구성 복호기(101)의 입력에 맞도록 한다. 이와 같이 처리된 값은 제2피드백 이득 제어기(106)로 입력되어 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP 알고리즘에 의해 얻는 부가 정보에 대한 가중치(weighting)를 위해 정해진 값을 곱하여 상기 첫 번째 구성 복호기(101)로 입력한다.

<54> 또한 가산기들(107, 108)은 두 번째 구성 복호기(105)에서 도출된 부가 정보로부터 각 정보 심볼에 대한 로그 우도비 정보를 생성하기 위해 수신 심볼의 전송로 신뢰도 및 사전 정보를 가산하여 출력한다. 판별기(109)는 도출된 로그 우도비 정보의 부호를 검사하여 로그 우도비 정보의 부호가 0보다 크면, 정보 심볼 '0'으로, 로그 우도비 정보의 부호가 0보다 작으면, 정보 심볼 '1'을 생성하여 출력한다.



다. 상기 판별기(109)에서 출력된 신호는 둘로 분기되어 출력버퍼(110)와 CRC 검사기(111)로 입력된다. 상기 출력버퍼(110)는 상기 판별기(109)로부터 판별된 '0' 또는 '1'의 값을 갖는 정보 심볼을 저장하는 메모리로 구성할 수 있다. 또한 상기 CRC 검사기(111)는 복호된 정보 심볼로 구성된 프레임 데이터의 오류를 검출하기 위해 사전에 삽입된 CRC 정보를 통해 CRC 검사를 수행하는 CRC 검사기이다.

<55> 그러면 상기 디코더들에서 수행되는 2차 max-Log-MAP algorithm에 대하여 살펴본다.

<56> 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP 알고리즘은 Max-Log-MAP algorithm을 기반으로 하고, 로그 우도비 메시지를 갱신하는 과정에서 수정을 가한 형태이다. 따라서 상기 2차 Max-Log-MAP algorithm에서 state metric α , β 를 정의하는 식은 구현상의 편의와 SNR mismatch에 대한 복호 성능의 insensitivity를 유지하기 위해 Max-Log-MAP algorithm에서 설명한, 상기 <수학식 3>과 동일하게 정의하여 사용한다. 또한 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm의 로그 우도비 정보 갱신을 위해 Log-MAP algorithm의 로그 우도비 정보에 대한 정의는 상기 <수학식 2>를 이용한다. 즉, 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm의 로그 우도비 정보는 상기 <수학식 2>에서 교정 값 f_c 의 근사화된 형태를 사용하며, 나머지는 그대로 사용한다.

<57> 상기 교정 값 f_c 의 근사화 과정은 상기 <수학식 2>에서 교정 값을 이루는 모든 metric 값 $M_n(i)$ 가운데 정보 심볼 '0'과 '1'에 대한 최대 metric $M_n(0)$ 와, 두

번째로 큰 metric인 $M_n(1)$ 만을 사용하여 f_c 를 정의하는 과정에 의해 이루어진다. 즉, 본 발명에 따른 터보 복호 알고리즘에서는 임의의 복호 시점의 로그 우도비 정보를 구하는 과정에서, 정보 심볼 '0'과 '1'에 대한 최대 metric 이외에, Max-Log-MAP algorithm에서 사용하지 않던 '0'과 '1'에 대한 두 번째 큰 metric 값들까지 고려하여 로그 우도비 정보를 갱신하는데 사용한다.

<58> 그러면 상기 교정 값인 f_c 의 근사화에 대하여 살펴본다.

<59> 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에서 로그 우도비 갱신 과정에서 상기 교정 값은 하기 <수학식 5>와 같이 근사화 한다.

<60> **【수학식 5】**
$$f_c \approx \log(1 + e^{-(M_0(0) - M_0(1))}) - \log(1 + e^{-(M_1(0) - M_1(1))})$$

<61> 즉, 임의의 복호 시점에서 정보 심볼 n 에 대해 가장 큰 값을 갖는 metric $M_n(0)$ 와, 두 번째로 큰 값을 갖는 metric $M_n(1)$ 만을 이용하여 교정 값 f_c 를 정의한다. 이들보다 작은 metric $M_n(i)$ ($i > 1$ 의 관계를 가짐)에 의한 교정 값 f_c 의 영향은 미미할 것이므로, 근사화 과정에서 이들을 제거한다. 또한 Max-Log-MAP algorithm에서는 임의의 복호 시점에서 trellis 상의 모든 state set(s' , s)를 검색하면서, 각 set에 대해 metric을 갱신하면서 정보 심볼 n 에 대한 최대 metric $M_n(0)$ 의 값을 구한다. 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에서는 최대 metric $M_n(0)$ 뿐만 아니라 두 번째로 큰 $M_n(1)$ 의 값 또한 구해야 하며, 복호 시간을 증가시키지 않기 위해 $M_n(0)$ 와 $M_n(1)$ 을 동시에 구할 수 있어야 한다. 이를 위해 각 state의 s 에서의 metric을 $m(s)$ 라 정의하고, 하기 <표 1>과 같은 방법에 의해 $M_n(0)$ 와 $M_n(1)$ 을 동시에 구한다.

<62> 【표 1】

```

(1) initialization :  $s = 0$ ,  $M_n(0) = \text{MIN}$ ,  $M_n(1) = \text{MIN}$ 
(2) Find  $m(s)$ 
(3) if  $M_n(0) < m(s)$ ,  $M_n(1) = M_n(0)$  and  $M_n(0) = m(s)$ 
    else if  $M_n(1) < m(s)$ ,  $M_n(1) = m(s)$ 
(4) IF  $s = S-1$ , stop. Else go (5)
(5) INCREASE  $s$  by 1. Go to (2)

```

<63> 상기 <표 1>의 과정에서 "MIN"은 $-\infty$ 에 해당하는 state metric 초기화를 위한 매우 작은 값이고, S는 constituent convolutional code를 구성하는 trellis의 총 상태 (total state) 수이다.

<64> 도 2는 본 발명에 따라 임의의 복호 시점 k에서 최대 metric $M_n(0)$ 와 두 번째로 큰 metric $M_n(1)$ 의 값을 구하기 위한 흐름도이다.

<65> 도 2의 200단계는 상기 <표 1>의 (1)과 같이 임의의 시점에서 트렐리스의 스테이트 및 정보 심볼 0과 1에 대한 최대 메트릭 값 및 두 번째로 큰 메트릭 값을 초기화하는 단계이다. 이와 같이 초기화를 수행한 후 202단계로 진행하면, 스테이트를 하나씩 증가시켜 가며 각 스테이트에서 정보 심볼 n (0 또는 1)에 대한 메트릭 값을 구한다. 그리고 204단계로 진행하여 상기 202단계에서 구한 정보 심볼 n에 대한 메트릭과 기존의 최대 메트릭 값을 비교한다. 상기 204단계에서 현재 스테이트에서 구한 메트릭 값이 기존의 최대 메트릭 값보다 큰 경우 206단계로 진행하고, 그렇지 않은 경우 208단계로 진행한다. 상기 206단계로 진행하면, 최대 메트릭 값을 현재 스테이트에서 구한 메트릭 값 설정한다. 그리고 두 번째로 큰 메트릭 값을 기존의 최대 메트릭 값으로 업데이트한다.

<66> 이와 달리 208단계로 진행하면 204단계에서 현재 스테이트에서 구한 메트릭 값이 기존의 최대 메트릭 값보다 작은 경우이므로, 이를 다시 기존의 두 번째로 큰 메트릭 값

과 비교한다. 상기 208단계의 비교결과 현재 스테이트에서 구한 메트릭 값이 기존의 두 번째로 큰 메트릭 값보다 큰 경우, 210단계로 진행하여 두 번째로 큰 메트릭 값을 현재 스테이트에서 구한 메트릭 값으로 갱신한다. 상기 206단계 또는 210단계 또는 208단계의 검사결과 현재 스테이트에서 구한 메트릭 값이 기존의 두 번째로 큰 메트릭 값보다 크지 않은 경우 212단계로 진행한다.

<67> 상기 212단계로 진행하면, 현재 진행중인 스테이트가 최대 스테이트인지 검사하여, 최대 스테이트 수보다 하나 작은 스테이트이면, 동작을 멈추고, 그렇지 않으면, 214단계로 진행하게 된다. 214단계는 스테이트를 하나 증가시켜 새로운 메트릭을 구할 수 있도록 하는 단계이다.

<68> 이상에서 설명한 과정을 통해 임의의 복호 시점에서 정보 심볼 n 에 대한 최대 metric $M_n(1)$ 과 두 번째로 큰 metric $M_n(1)$ 을 동시에 구할 수 있다. 이들을 이용하여 상기 <수학식 5>를 통해 Max-Log-MAP algorithm의 로그 우도비 갱신 과정의 교정 값 f_c 를 근사적으로 구할 수 있다.

<69> 그러나, 상기 교정 값 f_c 의 값을 상기 <수학식 5>와 같이 비선형 함수로 근사화하면 터보 디코더의 입력 심볼의 절대적인 값에 따라 복호 성능이 영향을 받게 된다. 즉, 수신기에서 정확한 SNR에 대한 판단(estimation)이 불가능하여 SNR mismatch가 발생한다. 이로 인하여 터보 복호기의 입력 심볼이 달라지게 되면, 그에 따라 터보 디코더의 복호 성능 또한 달라지게 된다. 따라서 상기 로그 함수를 선형함수로의 근사화가 필요하다.

<70> 그러면 이하에서 로그 함수의 선형 함수로의 근사화에 대하여 살펴본다.

<71> 실제의 Log-MAP algorithm과 같이 f_c 의 값을 나타내는데 있어 로그 함수를 그대로 사용하거나 또는 로그 함수에 대응되는 룩-업 테이블을 사용할 경우에는 터보 디코더로의 입력 심볼의 SNR이 일정하더라도 SNR mismatch에 의해 입력 심볼에 곱해지는 E_s/N_0 값이 변화함에 따라 그 성능이 크게 달라지게 된다. 따라서 입력 심볼 값에 관계없이 복호 성능을 유지할 수 있기 위해서는 f_c 를 나타내는 로그 함수를 변형시켜야 하고, 이를 위해 <수학식 6>과 같은 근사화 과정을 고려한다.

<72>

$$l(x) = \log(1 + e^{-x}) \approx -Kx + c \quad x > 0, \quad K > 0, \quad c > 0$$

【수학식 6】

<73> 터보 복호기의 복호 성능이 입력 심볼 값의 변화에 무관하도록 하기 위해서는 로그 우도비를 정의하는 과정에서 metric을 인수로 갖는 함수가 반드시 metric 값에 관한 선형 함수(linear function)이어야 한다. 이는 입력 심볼의 변화에 따라 달라지는 metric 값에 따라 교정 값 f_c 가 비선형적으로 변하게 되면, 동일한 SNR이라 하더라도 변화하는 입력 심볼에 따라 로그 우도비 값에 대해 비선형적으로 변화하는 교정 값 f_c 를 출력하게 되고, 이에 따라 일정한 성능을 보장할 수 없기 때문이다.

<74> 상기 <수학식 6>의 근사화 과정에서 실제 상수 c 값은 중요하지 않다. 왜냐하면, 교정 값 f_c 는 정보 심볼 0과 1에 대한 metric을 인수로 갖는 함수 $l(x)$ 의 차이에 의해 정의되므로 동일한 상수 c 를 사용하는 일차 함수에 의해 $l(x)$ 가 근사화되면 교정 값 f_c 에서 c 는 상쇄되기 때문이다.

<75> 실제로 위와 같은 근사화 과정은 rough한 것이다. 이와 같이 rough approximation에 의해 발생된 오류로 인하여 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm의 복호 성능은 $l(x)$ 를 로그 함수로 정의한 경우의 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의한 복호 성능에 비

해 저하된다. 그러나 $l(x)$ 를 비선형 함수로 정의하게 되면, 정확한 SNR estimation이 보장되는 경우에는 우수한 성능을 보일 수 있지만, 입력 심볼의 값이 SNR mismatch에 의해 변하는 경우에는 복호 성능이 변화된다.

<76> 상기 근사화 과정을 통해 overall 2차 Max-Log-MAP algorithm의 로그 우도비 갱신 과정을 수학적식으로 정리하면, 하기 <수학적식 7>과 같이 도식할 수 있다.

<77>

$$L(\hat{u}_k) = M_0(0) - M_1(0) + f_c$$

【수학적식 7】 where $f_c = -K(M_0(0) - M_0(1)) + K(M_1(0) - M_1(1))$

<78> 상기 <수학적식 7>에서 $M_n(1)$ 은 전술한 근사화 과정의 알고리즘에 의해 $M_n(0)$ 과 동시에 구할 수 있다.

<79> 다음으로 부가 정보(extrinsic information)에 대한 가중치(weighting factor)에 대하여 살펴본다. 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의해 수정된 로그 우도비 갱신 과정을 통해 구한 로그 우도비 정보를 이용하여 임의의 복호 시점 k에서 각 정보 심볼에 대한 부가 정보를 구할 수 있다. Max-Log-MAP algorithm을 통해 얻을 수 있는 부가 정보는 여러 근사화 과정을 통해 얻은 정보이므로, Log-MAP algorithm에 의해 얻을 수 있는 실제 부가 정보에 비해 일반적으로 다소 큰 값을 갖게 된다. 따라서, 이러한 영향을 줄이기 위해 각 정보 심볼에 대한 부가 정보에 대한 가중치를 곱해야 한다. 종래의 궤환 이득을 갖는 Max-Log-MAP algorithm에서는 매 반복마다 두 번째 구성 복호기에서 얻는 부가 정보에만 소정 값 예를 들어 0.588235라는 가중치를 곱해 주었다. 그러나 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에서는 각 정보 심볼에 대한 로그 우도비 값마다 두 번째로 큰 값을 갖는 metric에 의한 교정 값 f_c 를 포함하고 있으므로, 부가

정보에 대한 가중치의 값은 이보다 더 1에 가까운 값이어야 한다. 따라서 가중치 W_f 를 고려한 부가 정보는 하기 <수학식 8>과 같이 수정된다.

<80>

$$Le(u_k) = W_f((M_0(0) - M_1(0) + f_c) - (L_c y_k + La(\hat{u}_k)))$$

$$= W_f((M_0(0) - M_1(0)) - (L_c y_k + La(\hat{u}_k)) + f_c')$$

$$\text{where } f_c' = W_f(\log(1 + e^{-(M_0(0) - M_0(1))}) - \log(1 + e^{-(M_1(0) - M_1(1))}))$$

$$\text{【수학식 8】} \quad \text{or } f_c' = -K'(M_0(0) - M_0(1)) + K'(M_1(0) - M_1(1))$$

<81> 상기 <수학식 8>에서 $K' = K \cdot W_f$ 이다. 그리고, $L_c y_k$ 는 채널 reliability를 고려한 터보 복호기 입력이고, $La(u_k)$ 는 현재 정보의 심볼에 대한 사전 정보(apriori information)이다.

<82> 그러면 이상에서 상술된 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의한 임의의 심볼에 대한 로그 우도비 정보 및 반복 복호를 위한 부가 정보를 정의하는 과정을 살펴본다.

<83> 도 3은 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의한 임의의 심볼에 대한 로그 우도비 정보 및 반복 복호를 위한 부가 정보를 정의하기 위한 흐름도이다.

<84> 400단계에서 trellis 상의 임의의 천이(transition) 과정에서 branch metric γ 를 계산한 후 402단계로 진행하여 천이 과정의 모든 state set (s' , s)에 대한 state metric α , β 를 갱신한다. 그리고 404단계로 진행하여 상기 α , β 를 이용하여 상기 도 2의 제어 흐름도에 따라 천이 과정의 모든 state에 대한 갱신 과정을

수행하면서 로그 우도비 정보를 구하기 위한 best metric $M_n(0)$ 와, 두 번째 best metric $M_n(1)$ 을 동시에 구한다. 상기 첫 번째 metric $M_n(0)$ 와, 두 번째 best metric $M_n(1)$ 을 구한 후에 406단계로 진행하여 상기 <수학식 8>에 따라 상기 metric 값의 차이와, SNR을 고려한 입력 심볼, 그리고 해당 심볼에 대한 사전 정보(apriori information) 등을 이용하여 해당 심볼에 대한 부가 정보를 구한다. 상기 406단계의 동작은 후술될 도 5의 601, 602 및 603의 장치들에서 수행된다. 그런 후 608단계로 진행하여 상기 부가 정보에 이들 에 가중치 w_f 를 곱한다. 상기 608단계의 동작은 후술될 도 5의 604 장치에서 수행된다.

<85> 본 발명에 따른 2차 Max-Log-MAP algorithm을 위한 교정 값 f_c' 은 로그 함수를 선형 함수로 근사화시키는지 여부에 따라 상기 <수학식 8>에 정의된 두 값 중 하나로 정의한다. 즉, 수신단에서 perfect SNR estimation이 가능하다고 가정하면, 상기 <수학식 8>에서 교정 값 f_c' 를 원래의 로그 함수의 형태로 정의한 식에 의해 구하고, 그렇지 않으면 상기 <수학식 8>의 아래에 위치한 교정 값 f_c' 를 선형 함수로 근사화시킨 형태에 의해 계산한다. 따라서 상기 508단계에서 가중치 값을 곱한 후 410단계로 진행하면 근사화 가능 여부에 따라 근사화가 가능한 경우 412단계로 진행하고, 그렇지 않으면 414단계를 수행한다. 상기 512단계로 진행하면 상기 <수학식 8>에서 위의 교정 값을 사용하며, 414단계로 진행하면 상기 <수학식 8>에서 아래의 교정 값을 사용한다. 상기 412단계의 교정 값을 구하는 과정은 후술될 도 6의 701, 702, 703, 705 및 707의 각 장치들을 통해 'FLAG'신호가 0인 신호가 출력되는 경우를 설명하고 있다.

<86> 또한 상기 414단계의 교정 값을 구하는 과정은 후술될 도 6의 701, 702, 704, 706 및 708의 각 장치들을 통해 'FLAG'신호가 1인 신호가 출력되는 경우를 설명하고 있다.



- <87> 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따라 임의의 복호 시점에서 로그 우도비 정보에 관한 최대 metric 값과, 두 번째 metric 값을 동시에 찾기 위한 구성도이다. 이하에서 상기 도 4를 참조하여 본 발명에 따른 로그 우도비 정보를 찾기 위한 구성 및 동작에 대하여 상세히 설명한다.
- <88> 상기 도면에서 굵은 선으로 도시된 부분들은 본 발명에 따라 두 번째 metric 값을 찾기 위해 구성된 부분이다. 즉, 참조부호 511, 512, 513, 514는 본 발명에 따라 두 번째 metric을 계산하기 위한 부분이다. 따라서 그 외의 부분인 참조부호 501, 502, 503은 Max-Log-MAP algorithm에 따라 터보 부호의 복호를 위한 구성이 된다. 상기한 블록 구성은 trellis 상의 모든 state에 대해 state를 하나씩 증가시키면서 metric을 갱신한다. 이때 SEL0 신호는 첫 번째 state에서는 '0'의 값을 이후의 state에서는 '1'의 값을 갖는 신호이며, SEL1 신호는 첫 번째와 두 번째 state에서 '0'의 값을 갖고 이후 state에서는 '1'의 값을 유지하는 신호가 된다.
- <89> 도 4의 502, 503, 511, 513 및 514 장치는 두 개의 입력 신호에 대해 각 선택 신호에 따라, 선택 신호가 '0'의 값을 가지면 0 port의 입력이 그대로 출력되고, 선택 신호가 '1'의 값을 가지면 1 port의 입력이 그대로 출력되는 선택기이다. 501 및 512 장치는 두 개의 입력 포트 a,b에 입력되는 신호에 대하여 a의 신호가 b의 신호보다 작은 값을 가지면 '1'의 값을 출력하고, 그렇지 않으면 '0'의 값을 출력하는 비교기 장치이다.
- <90> 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따라 임의의 복호 시점에서 해당 정보 심볼에 대한 부가 정보를 생성하기 위한 블록 구성도이다. 이하 도 5를 참조하여 본 발명에 따라 임의의 복호 시점에서 해당 정보 심볼에 대한 부가 정보를 생성하기 위한 블록 구성을 상세히 살펴본다.



<91> 제1덧셈기(601)는 각 정보 심볼에 대해 정보 심볼 0과 1에 대해 구한 최대 메트릭 값들의 차이를 구하여 로그 우도비 정보를 얻는다. 또한 제2덧셈기(602)는 수신 심볼로부터 얻는 전송로 정보와 사전 정보를 더하여 출력한다. 상기 제1 및 제2덧셈기(601, 602)로부터 출력되는 각 신호들은 제3덧셈기(603)로부터 입력된다. 상기 제3덧셈기(603)는 제1덧셈기(601)에서 구한 로그 우도비 정보에서 제2덧셈기(602)의 전송로 정보와 사전 정보를 빼는 장치이다. 즉, 상기 제3덧셈기(603)의 출력은 기존의 Max-Log-MAP algorithm에 의한 부가 정보가 된다. 곱셈기(604)는 상기 제3덧셈기(603)에서 구한 부가 정보에 가중치를 곱하는 장치로서, 기존의 가중치를 갖는 Max-Log-MAP algorithm with FG에서 적용되는 장치이다. 즉, 가중치를 1로 설정하면, Max-Log-MAP algorithm이 된다. 또한 제4덧셈기(605)는 가중치가 곱해진 부가정보에 후술될 도 6의 장치들로부터 구해지는 교정 값을 더하여 2차 Max-Laog-MAP algorithm에 따른 최종의 부가 정보를 계산하여 출력한다.

<92> 상기한 구성 중에서 Max-Log-MAP algorithm에 비해 본 발명에 따라 추가된 부분은 가중치 w_f 를 곱하는 곱셈기(604)와, 교정값 f_c' 를 더하는 가산기(605)이다. 또한 궤환 이득을 가지는 Max-Log-MAP algorithm과 비교할 때 추가되는 부분은 상기 가산기(605)가 된다.

<93> 도 6은 본 발명에 따라 부가 정보를 구하는데 필요한 교정 값을 계산하기 위한 블록 구성도이다. 이하 도 6을 참조하여 본 발명에 따라 부가 정보를 구하는데 필요한 교정 값을 계산하기 위한 블록 구성을 상세히 설명한다.

- <94> 상기 도 6의 제1덧셈기(701)는 정보 심볼 0에 대하여 최대 메트릭과 두 번째로 큰 메트릭의 차이를 구하여 출력한다. 그리고 제2덧셈기(702)는 정보 심볼 1에 대하여 최대 메트릭과 두 번째로 큰 메트릭의 차이를 구하여 출력한다. 이와 같이 제1 및 제2덧셈기(701, 702)에서 계산된 값들을 이용하여 룩-업 테이블(703)에서 상기 <수학식 8>에 의해 정의한 log 함수를 이용한 교정 값을 구한다. 상기와 같이 구해진 값들은 다시 제3덧셈기(705)로 입력되며, 여기서 다시 차를 계산한다. 그런 후 상기 구해진 차의 값은 제1곱셈기(707)로 입력되어 가중치를 곱한 후 최종 교정 값을 결정한다.
- <95> 또한 제4덧셈기(704)에서 상기 제1 및 제2덧셈기(701, 702)로부터 구한 메트릭 차이들간의 차를 다시 계산한다. 그리고 제2곱셈기(706)에서 기울기 값을 곱하여, 선형 함수로의 근사화된 교정 값을 결정한다.
- <96> 상기 도 6에서 FLAG 신호는 상기 <수학식 8>에서 교정 값을 선택하는데 사용되는 신호가 된다. 즉, 상기 <수학식 8>의 교정 값 중 위의 교정 값을 선택하는 경우 0으로 표기된 부분이 선택되며 로그 함수를 이용하여 f_c' 를 구하며, 이를 위해 look up table이 필요하다. 이와 달리 상기 <수학식 8>의 교정 값 중 아래의 교정 값을 선택하는 경우 1로 표기된 부분이 선택되고, 간단한 덧셈기와 곱셈기로 f_c' 를 구하게 된다. 단, FLAG 신호가 0인 경우에는 수신단에서 perfect SNR estimation이 보장되어야 한다. 도 6의 블록은 본 발명에서 제안하는 2차 Max-Log-MAP algorithm에서 추가되는 하드웨어 블록이다. 또한 상기 블록을 실제 구현시 가중치 W_f 와 K' 의 값을 2의 지수로 표현 가능하도록 선택하면 상기 도 5와 도 6의 곱셈기는 단순한 bit 선택기 또는 이를 포함한 덧셈기로 구현이 가능하다.

- <97> 그러면 다음으로 본 발명에서 제안한 2차 Max-Log-MAP algorithm에 따른 turbo decoder의 성능에 대하여 살펴본다. 본 발명에 따른 모의 실험을 위한 실험 환경을 설명하면 다음과 같다.
- <98> 우선 모든 실험은 floating point simulation으로 이루어 졌고, 복호 성능은 BER(Bit error rate)과 FER(Frame error rate)에 의해 보인다. 그리고, SNR mismatch에 의한 영향을 살펴보기 위해 Eb/No offset에 따른 복호 성능 또한 보일 것이다. 실험을 위한 turbo encoder는 CDMA2000 1xEV-DV에서 정의된 rate 1/5 turbo encoder를 사용하였고, overall code rate을 1/5 이외의 값으로 변경하기 위해서는 QCTC operation을 수행하였다. Frame 크기는 1xEV-DV spec.에 정의된 encoder packet size가운데 하나로 정하였으며, 심볼 전송 시 변조 방식은 BPSK이고, 전송로는 AWGN 전송로를 가정하였다. 복호 과정에서는 최대 8번까지의 반복 복호를 수행하였으며, frame error가 50개 발생할 때까지 simulation을 수행하여 BER & FER을 측정하였다.
- <99> 상기 <수학식 8>에서 정의된 weighting factor W_f 와 K' 은 실험적으로 정의하였다. 일반적으로 turbo decoding을 위한 반복 복호 과정은 sup-optimal decoding operation - not Maximum likelihood decoding - 이므로, 반복 복호 과정에서 성능 저하를 유발시킬 가능성이 존재한다. 실제 SNR mismatch에 관한 실험에 있어서도 Eb/No offset이 전혀 없는 경우보다 -1 dB정도의 Eb/No offset을 갖는 경우가 오히려 더 나은 성능을 보이게 되는데, 이러한 현상은 iteration 과정에서 유발될 수 있는 성능 저하를 -1 dB 라는 erroneous weighting이 감쇄시키기 때문으로 보인다. 따라서 weighting factor W_f 은 실험적으로 하기 <수학식 9>와 같이 정의한다.

<100>

$$\text{【수학식 9】 } W_f \approx -1 \text{ dB} = 0.79432 \approx \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{16}$$

<101>

상기 <수학식 9>와 같이 W_f 의 값을 2의 지수들의 합으로 표현함으로써 가중치를 곱하는 연산을 하드웨어 상에서보다 용이하게 구현할 수 있다.

<102>

상기 <수학식 8>의 K' 은 <수학식 4>의 기울기 K 에 W_f 를 곱한 값이다. 상기 <수학식 6>의 K 는 함수 $l(x) = \log(1 + e^{-x})$ 의 접선의 평균 기울기로 정의한다. 따라서 이를 수학식으로 도시하면 하기 <수학식 10>과 같이 도시할 수 있다.

<103>

$$\text{【수학식 10】 } -K = \frac{1}{a} \int_0^a \frac{1}{1+e^x} dx = \frac{\log(1+e^{-a}) - \log 2}{a}$$

<104>

이때 a 의 값은 함수 $l(x)$ 가 의미있는 값을 갖는 범위의 최대 값으로 정한다. 즉, a 가 대략 9보다 크면, $l(x)$ 는 10^{-4} 보다 작아지게 되므로, a 값을 9로 정하고 이에 대한 K 값을 구하면 하기 <수학식 11>과 같이 도시할 수 있다.

<105>

$$\text{【수학식 11】 } -K = \left. \frac{\log(1+e^{-a}) - \log 2}{a} \right|_{a=9} = 0.7700 \approx \frac{1}{13}$$

<106>

여러 실험을 통해 $-K$ 의 값을 상기 <수학식 11>과 같이 정의하는 것은 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 상기 <수학식 11>에 정의된 K' 은 하기 <수학식 12>와 같이 정의할 수 있다.

<107>

$$\text{【수학식 12】 } K' = K \cdot W_f = \frac{1}{16}$$

- <108> 상기 <수학식 12>과 같은 K' 의 값은 또한 하드웨어 상에서 곱셈 연산을 단순한 bit 선택 연산으로 단순화 할 수 있다.
- <109> 그러면 이하에서 근사화를 수행한 경우와 그렇지 않은 경우를 첨부된 도면의 시뮬레이션 결과로 대비하여 살펴본다. 도 8 및 도 9는 EP size가 3864이고, overall code rate이 1/2인 경우에 대한 turbo decoder 복호 성능을 나타내는 BER 및 FER 결과를 도시한 도면이다. 상기 도 8 및 도 9에서 'LogMAP'은 Log-MAP algorithm에 의한 복호 성능을, 'log2 MaxLogMAP'은 f_c 를 log 함수 $l(x)$ 로 정의한 알고리즘에 의한 복호 성능을, 'mod MaxLogMAP'은 f_c 를 일차 함수로 근사화 시킨 algorithm에 의한 복호 성능을, 'MaxLogMAP with FG'는 기존의 feedback gain을 갖는 max-Log-MAP algorithm에 의한 복호 성능을, 그리고 'MaxLogMAP'은 기존의 Max-Log-MAP algorithm에 의한 복호 성능을 나타낸다. 도면에 도시된 바와 같이 'log2 MaxLogMAP'에 의한 복호 성능이 'LogMAP'에 의한 복호 성능에 가장 근접하지만, SNR mismatch가 발생할 경우에는 이러한 성능을 보장하지 못하는 단점이 있다. 그리고, 'mod MaxLogMAP'에 의한 복호 성능은 'LogMAP'에 의한 복호 성능에 비해 10^{-2} 의 FER에서 약 0.1 dB 정도의 손실만이 존재하며, 'MaxLogMAP with FG'에 의한 복호 성능에 비해서는 약 0.05 dB의 성능 이득이 있음을 알 수 있다. 또한, 'mod MaxLogMAP'에 의한 복호 성능은 SNR mismatch와 관계없이 동일한 성능을 유지할 수 있다.
- <110> 도 9 및 도 10은 $E_b/N_0=1.3$ dB에서 반복 복호에 따라 'log2 MaxLogMAP'의 성능과 'mod MaxLogMAP'의 성능, 'MaxLogMAP with FG'의 성능, 그리고 'MaxLogMAP'의 성능을 비교한 도면이다. 'log2 MaxLogMAP'의 성능이 반복에 따라 가장 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났고, 'mod MaxLogMAP'의 성능은 'MaxLogMAP with FG'의 성능에 비해 큰 이득

은 없으나, FER 관점에서 보았을 때 7번의 반복 복호만으로 'MaxLogMAP with FG'의 8번 반복 복호 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

<111> 도 11 및 도 12는 EP size가 792이고, effective code rate이 1/5인 경우에 대한 BER & FER 성능 실험 결과를 도시한 도면이다. EP size가 3864인 경우와 마찬가지로 5가지 algorithm을 적용한 복호 성능간의 우열 관계에는 변화가 없다. 다만, EP size가 3864인 경우에 비해 'mod MaxLogMAP'의 복호 성능이 'MaxLogMAP with FG'의 복호 성능에 비해 약 0.1 dB라는 보다 많은 성능 이득을 보이고 있음을 알 수 있다.

<112> 또한 도 13 및 도 14는 $E_b/N_0=0.7$ dB에서 EP size=792인 경우에 대해 반복 복호에 따른 성능을 비교한 도면이다. 그리고 도 15 및 도 16은 EP size가 3864이고, effective code rate이 1/2인 경우, $E_b/N_0=1.2$ dB에서 SNR mismatch에 따른 각 복호 알고리즘들에 의한 복호 성능을 비교한 도면이다. 즉, turbo decoder 입력 심볼에 대한 SNR estimation 과정에서 E_b/N_0 offset만큼의 오류가 발생하였을 때의 BER & FER성능을 보인 것으로, E_b/N_0 offset이 0 dB인 경우가 perfect SNR estimation을 가정한 경우이다. 그림에서 보듯이 'mod MaxLogMAP'에 의한 복호 성능은 SNR mismatch와는 무관한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 f_c 를 정의하는 $l(x)$ 를 metric의 일차 함수로 근사화, 정의했기 때문이다. 그러나 'log2 MaxLogMAP'에 의한 복호 성능은 SNR mismatch에 따라 성능이 변화됨을 보이고 있으며, 이는 $l(x)$ 를 비선형 함수인 $\log()$ 함수로 정의했기 때문에 SNR mismatch에 따라 $\log()$ 함수의 인수인 metric의 변화에 따른 f_c 의 변화가 비선형적으로 이루어지기 때문이다. 그러나 Log-MAP algorithm에 비해서는 그 변화의 폭이 대단히 작으며, 따

라서 실제 환경에서 대략 -6 dB ~ +6 dB 이내의 SNR estimation이 보장된다면, 'log2 MaxLogMAP' algorithm을 turbo decoding algorithm으로 사용할 수 있을 것으로 보인다.

<113> 본 발명에서 제안한 2차 Max-Log-MAP algorithm에 의한 turbo code 복호 성능은 EP size에 관계없이 Log-MAP algorithm에 의한 복호 성능에 비해 약 0.1 dB만의 성능 손실을 보이고 있음을 실험을 통해 알 수 있었다. 그리고, 이 성능은 기존의 Max-Log-MAP algorithm (with or without FG)에 비해 우수함 또한 확인할 수 있었다. 또한, 본 발명에서 제시하는 algorithm은 수신단에서 수행하는 수신 심볼에 대한 SNR estimation에 다소 오류가 발생하더라도, 이에 관계없이 항상 우수한 성능을 보이고, 이 또한 실험을 통해 확인할 수 있었다.

【발명의 효과】

<114> 상술한 바와 같이 본 발명은 Max-Log-MAP algorithm에 비해 우수한 성능을 보이면서 Log-MAP algorithm 보다 간단한 구조로 Max-Log-MAP algorithm보다 약간의 하드웨어적인 추가만으로 탁월한 성능을 제공한다. 이에 따라 본 발명은 CDMA2000 1xEV-DV 시스템 또는 단말의 채널 디코더 뿐만 아니라 UMTS 및 HSDPA의 단말 채널 디코더에도 적용 가능하며, 간단한 구성으로 탁월한 성능을 낼 수 있는 이점이 있다.



【특허청구범위】

【청구항 1】

터보 부호의 복호를 위한 구성 복호 방법에 있어서,
트래리시스 상의 임의의 시점에서 상태 메트릭을 계산하는 제1과정과,
상기 상태 메트릭 값 중에서 정보 심볼에 대한 최대 메트릭 값을 선택하고, 상기
정보 심볼에 대한 상기 최대 메트릭 값과 두 번째로 큰 메트릭 값의 차이에 의해 정의되
는 선형 함수인 교정값을 계산하는 제2과정과,
상기 최대 메트릭 값과 상기 교정값에 의해 로그 우도비(Log Likelihood Ratio)를
갱신하는 제3과정으로 이루어짐을 특징으로 하는 상기 복호 방법

【청구항 2】

제1항에 있어서, 상기 교정 값은,
상기 트래리시스 상에서 상기 최대 메트릭 값과 두 번째로 큰 메트릭 값의 차에 의해
표현되는 로그함수를 상기 로그 함수의 접선의 기울기들의 평균 값에 의해 선형화된 함
수부터 나온 값을 특징으로 하는 상기 복호 방법.

【청구항 3】

제2항에 있어서, 상기 로그 함수의 접선의 기울기들의 평균값은,

상기 로그 함수의 접선의 기울기의 평균값을 계산함에 있어서 범위를 정수 0 내지 9 이하의 값을 가짐을 특징으로 함을 특징으로 하는 상기 복호 방법.

【청구항 4】

제11항에 있어서,

상기 갱신된 로그 우도비에 의해 상기 각 정보 심볼에 대해 부가정보를 반복하여 갱신하는 과정에 있어서,

상기 부가 정보에 1에 가까운 가중치를 곱하는 과정을 더 포함함을 특징으로 하는 상기 복호 방법.

【청구항 5】

제4항에 있어서,

상기 가중치 값이 하기 <수학식 13>에 의한 값임을 특징으로 하는 상기 복호 방법.

【수학식 13】 가중치 값 = $1/2 + 1/4 + 1/16$

【청구항 6】

터보 부호의 복호를 위한 구성 복호기 장치에 있어서,

입력 정보 심볼들로부터 구한 최대 메트릭 값들의 차이로부터 로그 우도비 정보를 계산하는 제1덧셈기와,

입력 수신 심볼로부터 얻은 전송로 정보와 사전 정보를 더하여 출력하는 제2덧셈기와,

상기 제1덧셈기 및 제2덧셈기의 출력을 이용하여 전송로 정보와 사전 정보를 제외한 부가 정보를 계산하여 출력하는 제3덧셈기와,

상기 제3덧셈기의 출력에 소정의 가중치를 곱하여 출력하는 제1곱셈기와,

상기 입력 정보 심볼들로부터 교정 값을 계산하여 출력하는 교정 값 계산부와,

상기 교정 값 계산부로부터 출력되는 교정 값과 상기 제1곱셈기의 출력을 가산하는 제4덧셈기를 포함함을 특징으로 하는 상기 장치.

【청구항 7】

제6항에 있어서, 상기 교정 값 계산부는,

상기 입력되는 정보 심볼 중 0의 값에 대하여 최대 및 두 번째 큰 메트릭의 차이를 계산하는 제5덧셈기와,

상기 입력되는 정보 심볼 중 1의 값에 대하여 최대 및 두 번째 큰 메트릭의 차이를 계산하는 제6덧셈기와,

상기 정보 심볼들인 0과 1의 최대 및 두 번째 큰 메트릭 차이에 대한 로그 함수의 교정 값을 저장하며, 상기 제5 및 제6덧셈기의 출력에 대응하여 상기 저장된 각 교정 값을 출력하는 룩-업 테이블과,

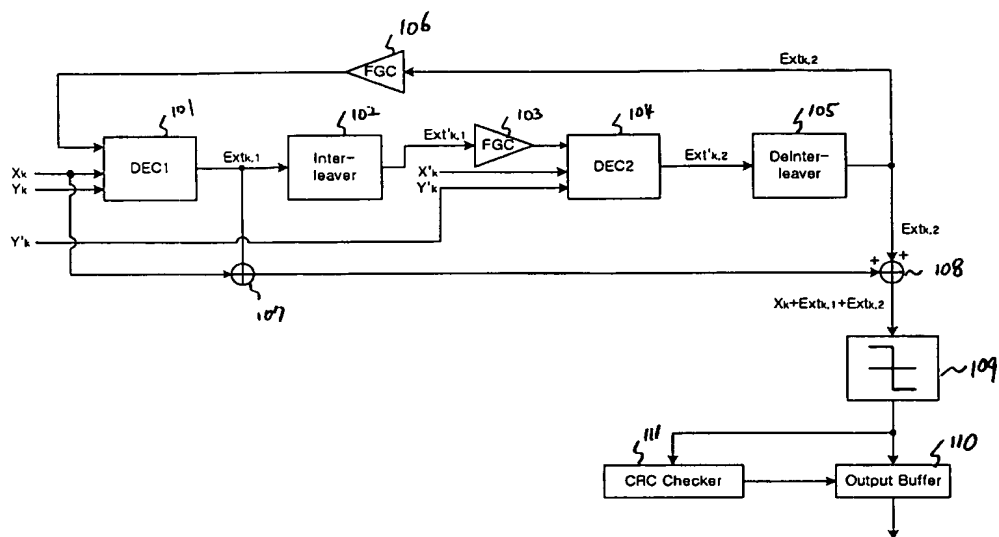
상기 룩-업 테이블로부터 출력된 상기 각 교정 값들의 차를 계산하는 제7덧셈기와,

상기 제7덧셈기의 출력에 소정의 가중치를 곱하는 제2곱셈기와,

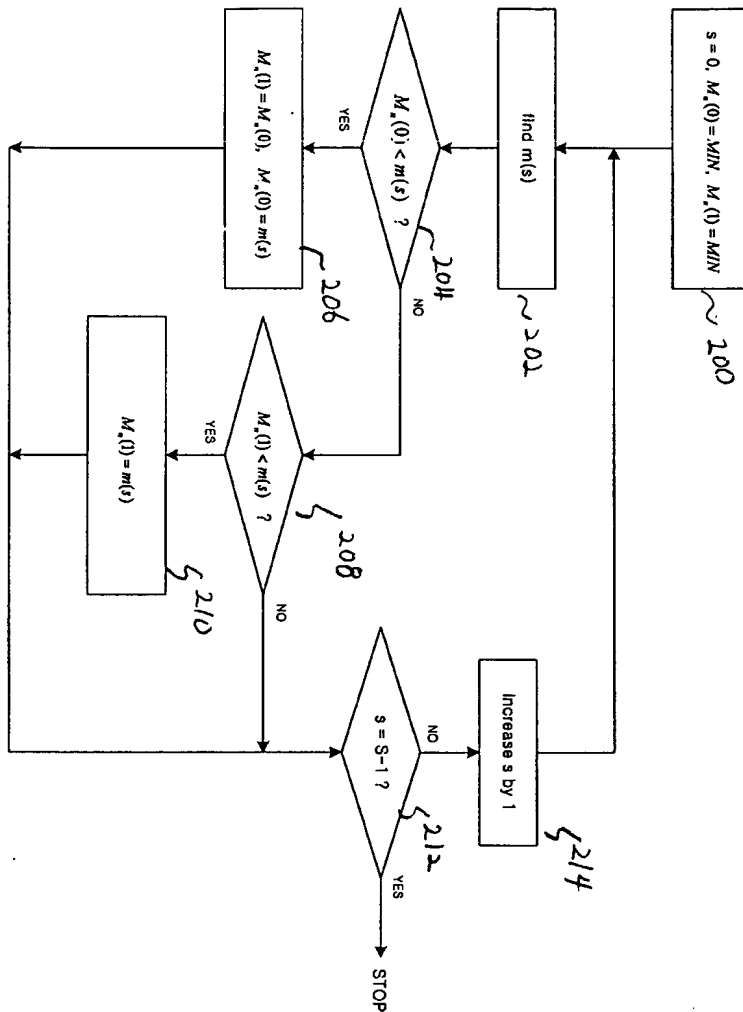
상기 제5 및 제6덧셈기의 출력 값의 차를 계산하여 출력하는 제8덧셈기와,
상기 제8덧셈기의 출력에 선형 함수의 근사화 기울기 값을 곱하여 출력하는 제3곱
셈기와,
상기 제2곱셈기 및 제3곱셈기의 출력을 선택하여 출력하는 선택기를 포함함을 특징
으로 하는 상기 장치.

【도면】

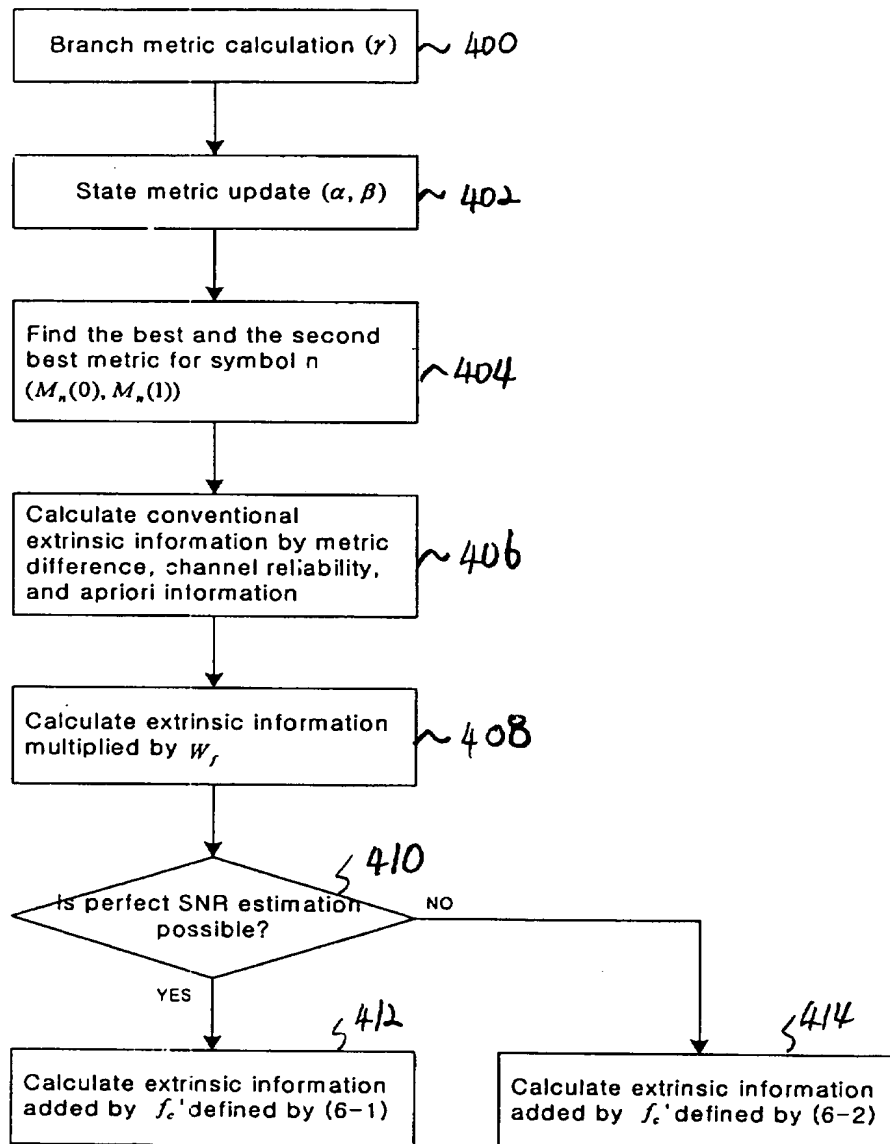
【도 1】



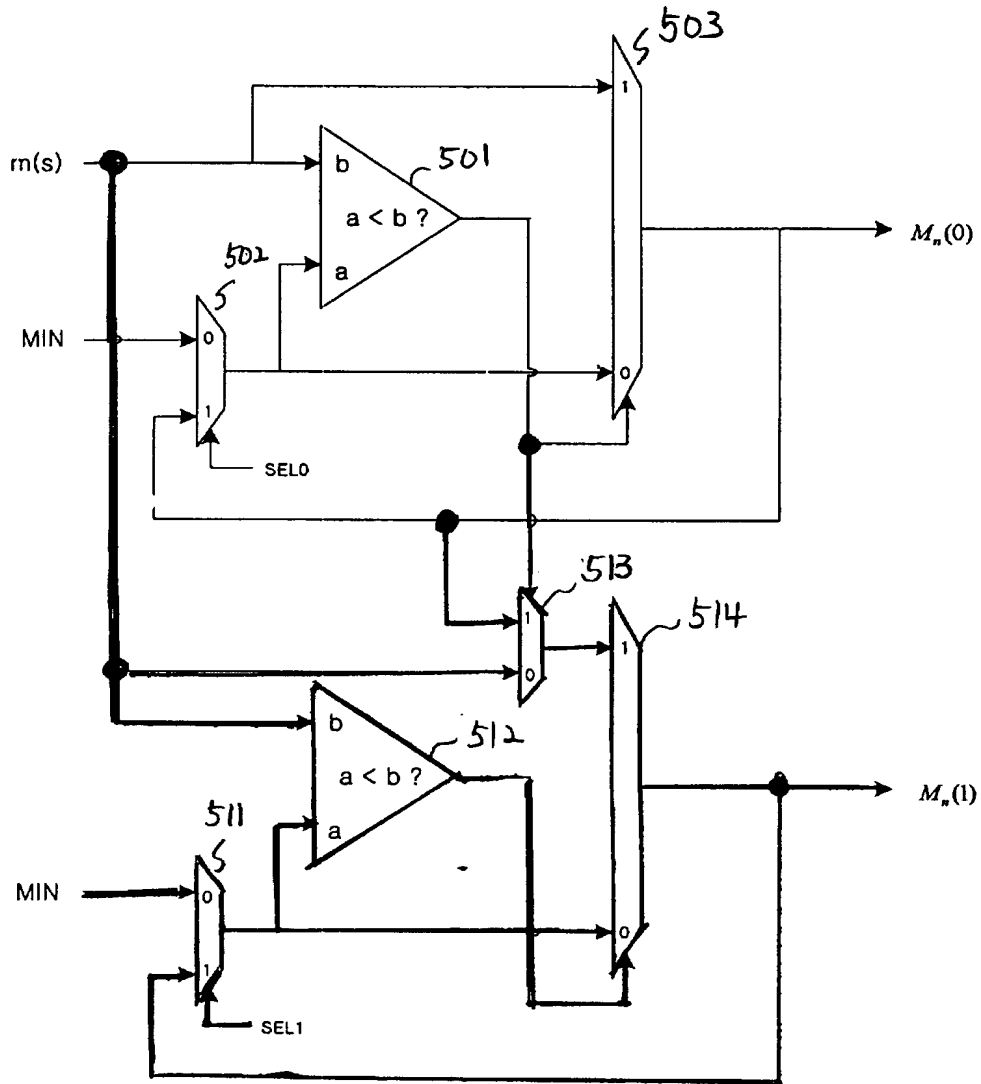
【도 2】



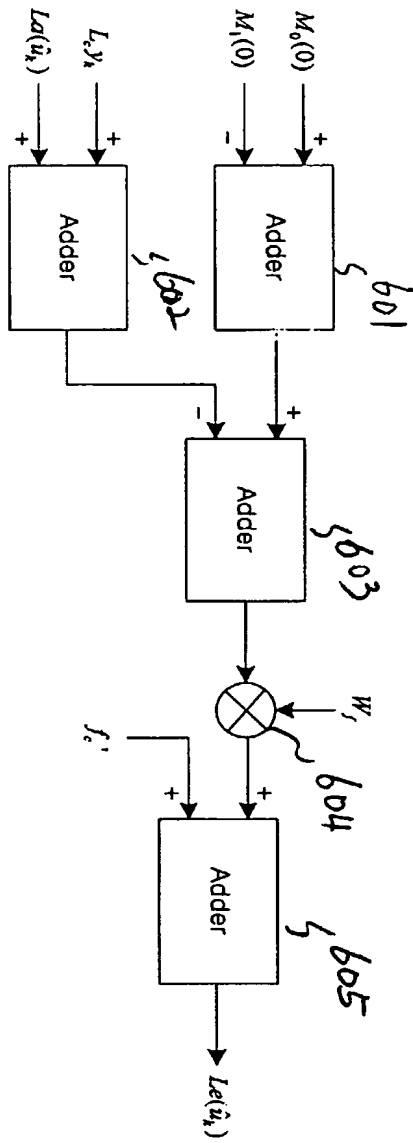
【도 3】



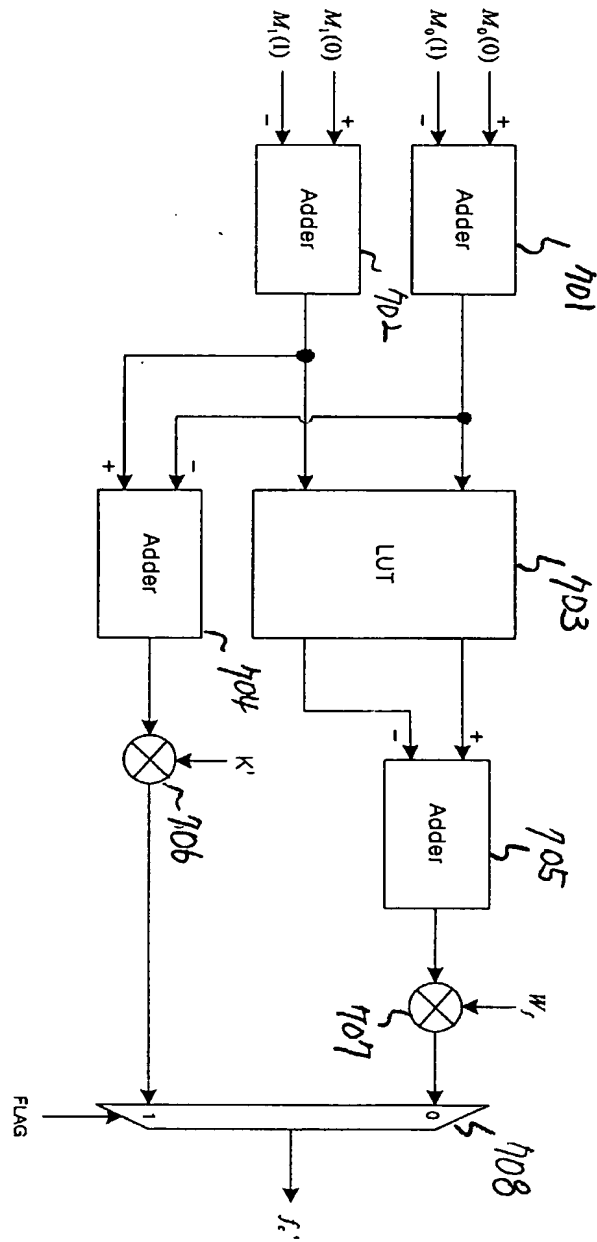
【도 4】



【도 5】

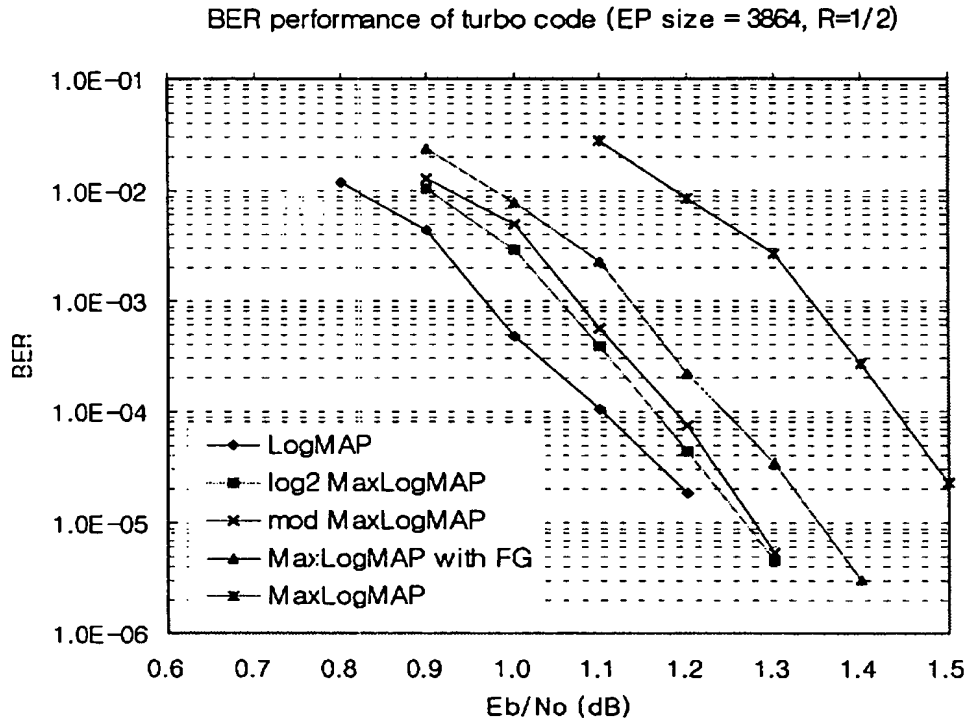


【도 6】



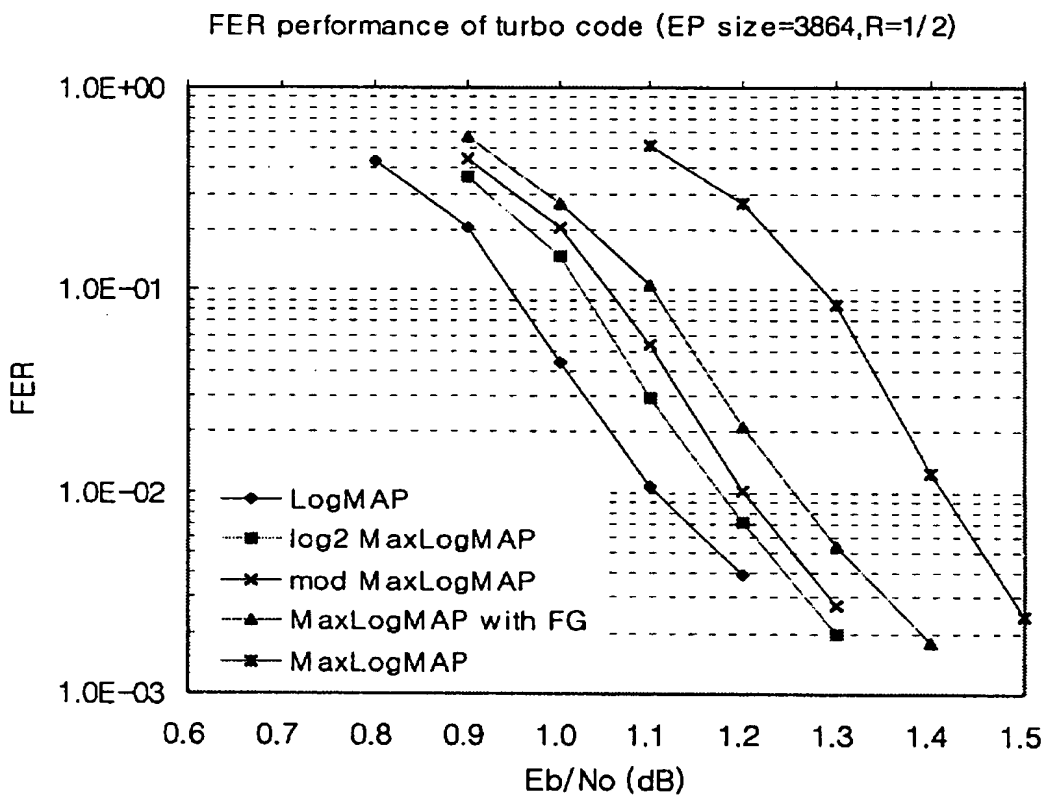


【도 7】



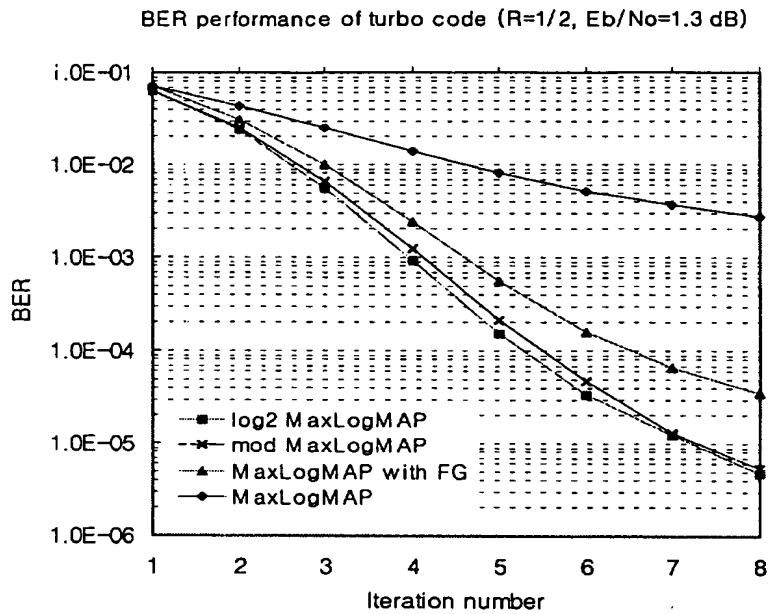
BER performance of turbo code (EP size=3864, R=1/2)

【도 8】



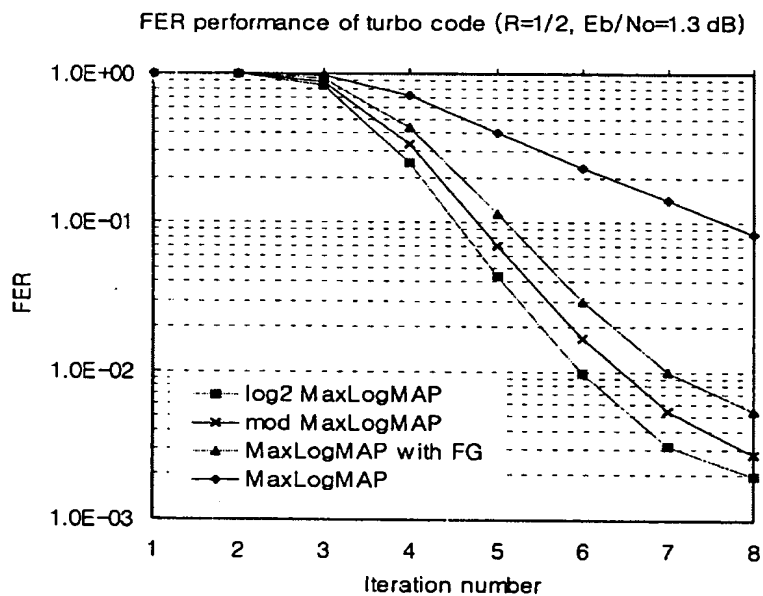
FER performance of turbo code (EP size=3864, R=1/2)

【도 9】



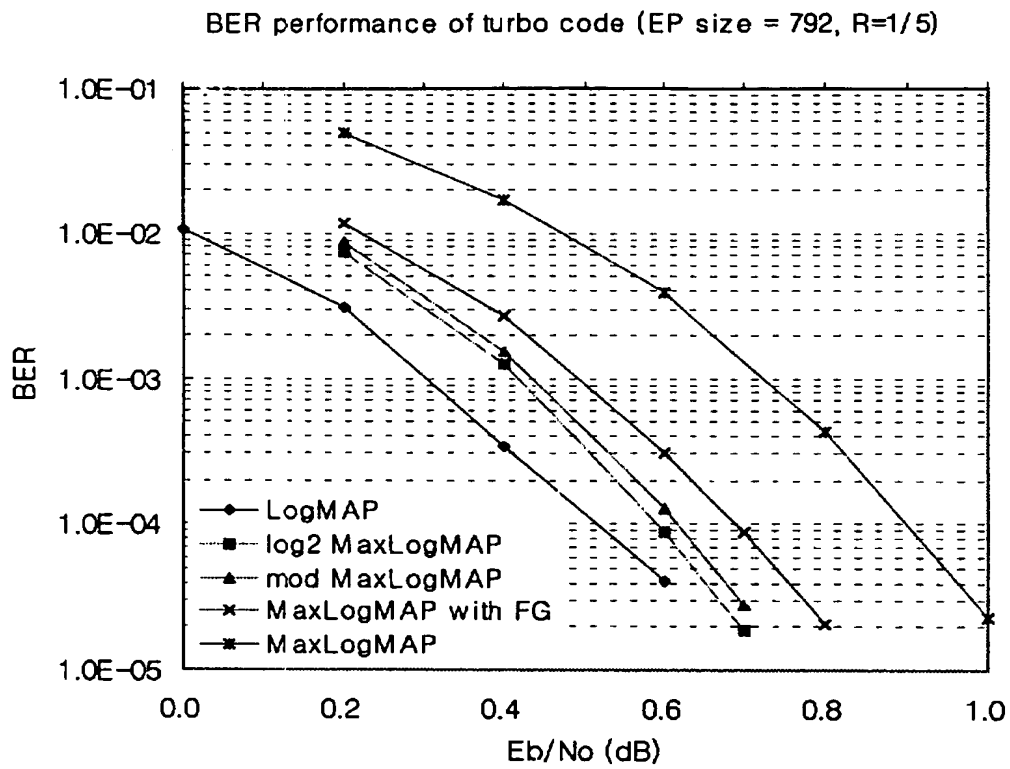
BER performance of turbo code over iterations (EP size=3864, $R=1/2$, $E_b/N_0=1.3$ dB)

【도 10】



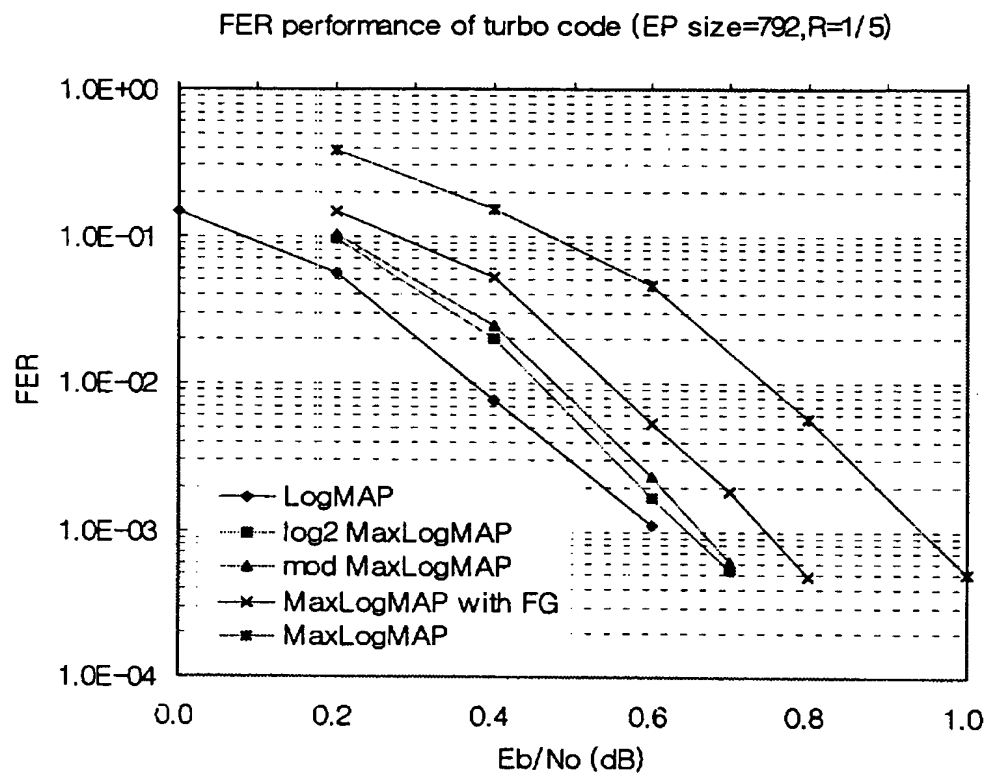
FER performance of turbo code over iterations (EP size=3864, $R=1/2$, $E_b/N_0=1.3$ dB)

【도 11】



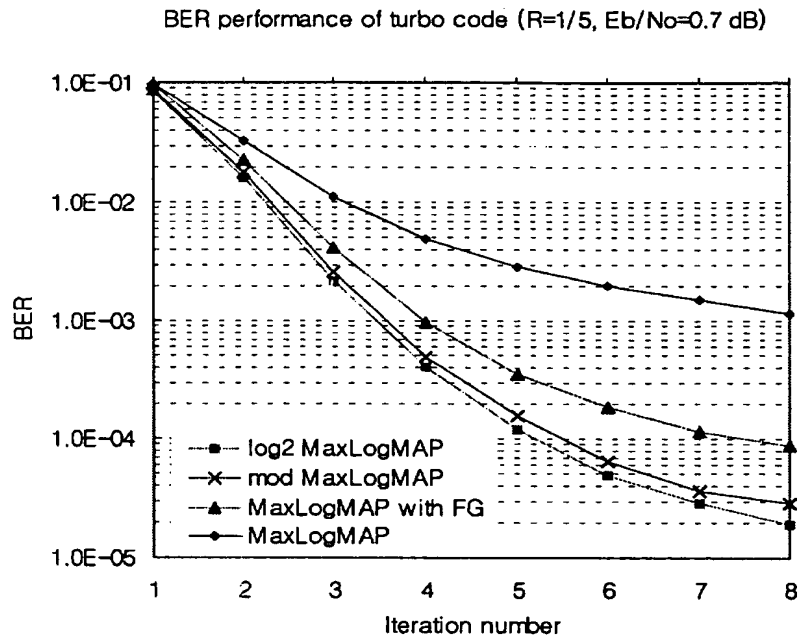
BER performance of turbo code (EP size=792, R=1/5)

【도 12】



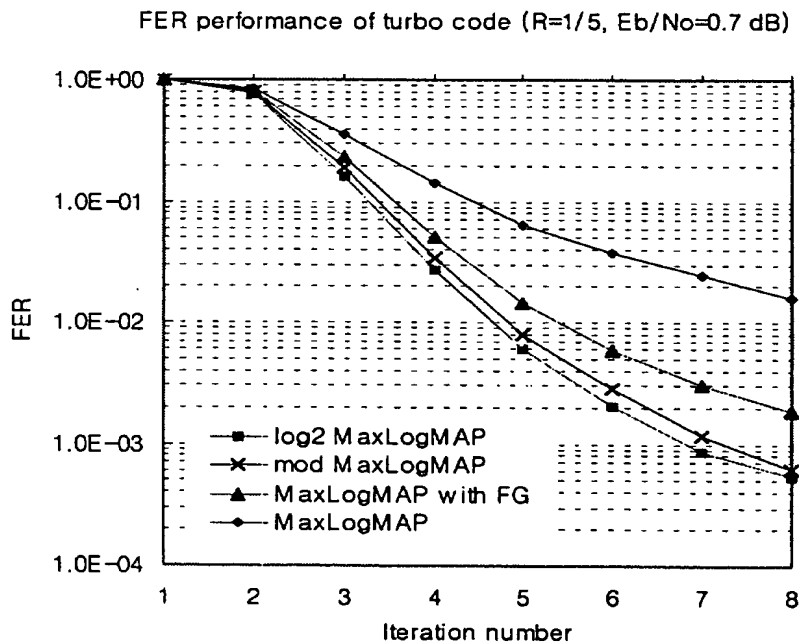
FER performance of turbo code (EP size=792, R=1/5)

【도 13】



BER performance of turbo code over iterations (EP size=792, $R=1/5$, $E_b/N_0=0.7$ dB)

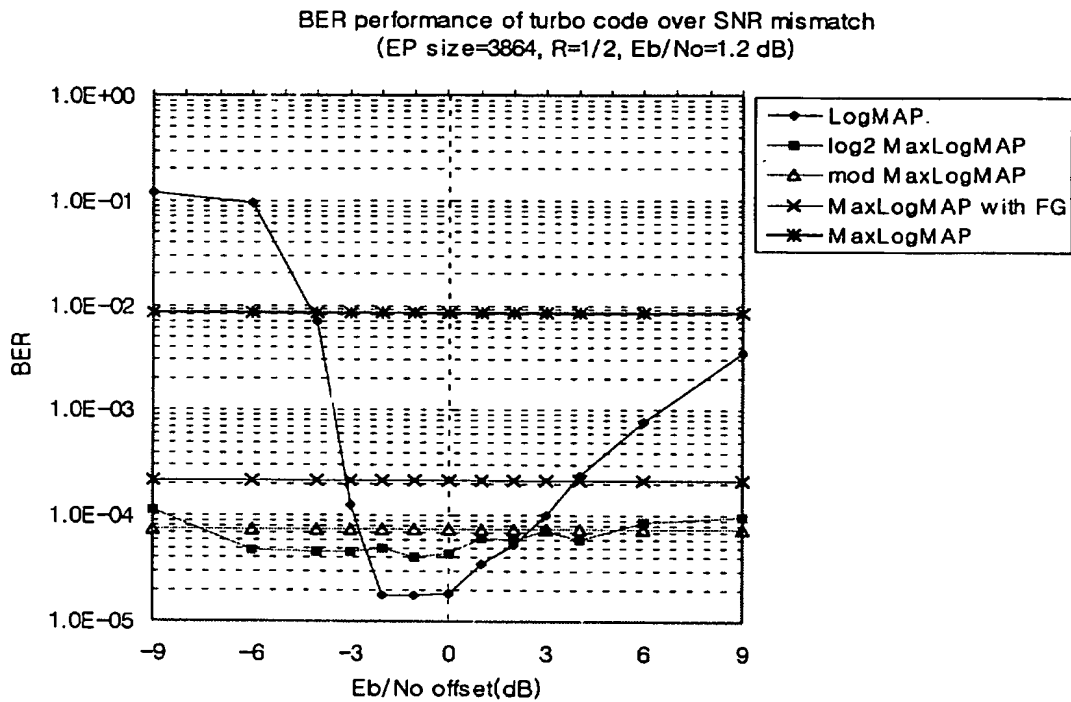
【도 14】



FER performance of turbo code over iterations (EP size=792, $R=1/5$, $E_b/N_0=0.7$ dB)

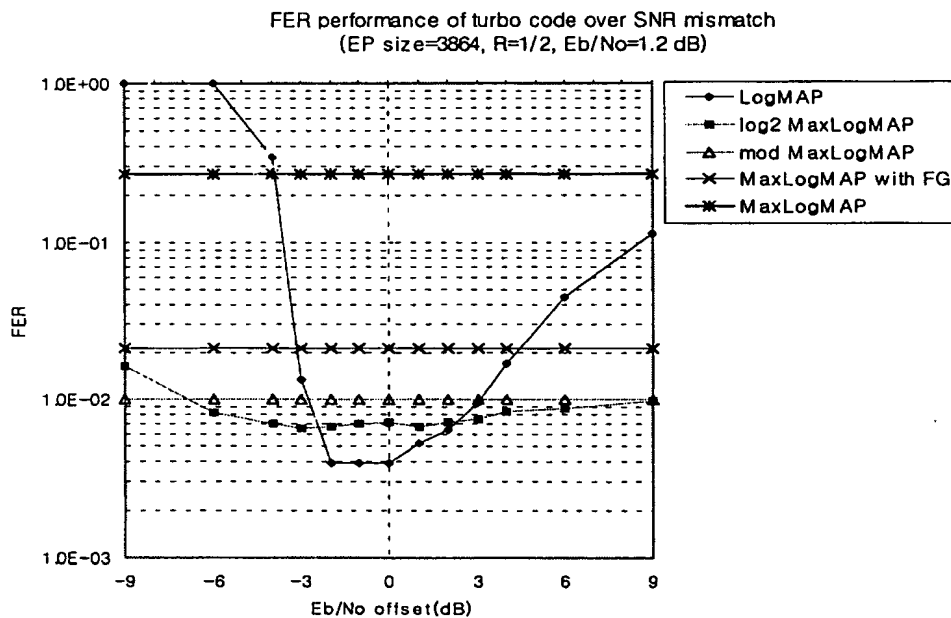


【도 15】



BER performance of turbo code over Eb/No offset (EP size=3864, Eb/No=1.2 dB)

【도 16】



FER performance of turbo code over Eb/No offset (EP size=3864, Eb/No=1.2 dB)